

TUNELY SILNIČNÍHO OKRUHU KOLEM PRAHY ZKUŠENOSTI PO ZAHÁJENÍ RAŽBY NA STAVBĚ 513 TUNNELS ON THE PRAGUE CITY RING ROAD EXPERIENCE AFTER THE COMMENCEMENT OF EXCAVATION IN CONSTRUCTION LOT 513

PETER ŠTEFKO, LIBOR MAŘÍK

ÚVOD

Praha se stejně jako většina evropských metropolí dlouhodobě potýká s narůstající intenzitou dopravy a dopravním přetížením centra města. Řešením vzniklé situace je odlehčení vnitřních hustě osídlených částí Prahy od tranzitní a příměstské dopravy vybudováním kapacitního silničního okruhu. Celý okruh je rozdělen do 11 staveb označených čísly 510 až 520, jejichž výstavba probíhá etapovitě. Úsek okruhu mezi Vestcem a Lahovicemi je označován jako stavba 513. Směrem od Lahovic, kde navazuje na stavbu 514, trasa komunikace překračuje mostním objektem řeku Vltavu a prudce stoupá ve dvou směrově rozdělených tunelových troubách směrem od Komořan k Cholupicím. V příportálových úsecích, kde malá výška nadloží neumožňuje ražbu tunelů, probíhá jejich výstavba v otevřené stavební jámě. V úsecích s nouzovými geotechnickými poměry jsou tunely navrženy ražené pomocí Nové rakouské tunelovací metody (NRTM). Podélný sklon tunelů vyžaduje ve směru stoupání použít v jižní tunelové troubě třípruhový profil s šířkou mezi obrubníky 11,75 m. V opačném směru je v severní tunelové troubě navržen dvoupruhový profil s nouzovými pruhem šířky 1,5 m. Celková šířka vozovky mezi obrubníky dosahuje 9,75 m. Šířka mezi obrubníky hraje významnou roli, neboť ovlivňuje celkovou plochu výrubu, a tím i výši investičních nákladů. Z hlediska české normy ČSN 737507 určuje šířka vozovky mezi obrubníky kategorii tunelu.

Před zahájením prací získal zhotovitel stavby výsledky geotechnického průzkumu, jehož součástí byla i ražba průzkumné štoly, situované ve středu kaloty jižního třípruhového tunelu (viz obr. 1). Stabilitu výrubu průzkumné štoly soudkovitého tvaru o ploše výrubu 25 m² zajišťuje primární ostění ze sřítkaného betonu vyztužené ocelovými sítěmi a vyztužnými příhradovými rámy. Štola o světlé výšce 5,5 m a šířce 4,5 m probíhá v celé délce jižního tunelu a umožňuje větrání i odvodnění podzemního díla během výstavby.

V době přípravy textu článku byla stavební jáma na Cholupickém portále délky 85 m a hloubky až 17 m vytěžena na úroveň kaloty tunelů a na portálech vrcholily přípravy pro zahájení úpadní ražby (viz obr. 2). V jižním tunelu bylo vyraženo 106 m kaloty. V komořanské stavební jámě délky 170 m a hloubky téměř 30 m probíhaly práce na zajišťování svahů záporovým pažením a odtěžování zeminy. V jižním tunelu bylo k 15. 11. 2007 vyraženo 867 m kaloty a s odstupem cca 400 m za čelbou kaloty odtěženo 478 m jádra v levé a 488 m v pravé části tunelu.

Výstavbu tunelů v městské aglomeraci mnohdy provází řada komplikací. Nejinak tomu bylo i v případě tunelů na stavbě 513. Některé nejasnosti v záborech pozemků nutných pro výstavbu stavebních jam v kombinaci s potřebou upřesnit geotechnické poměry v místě stavební jámy Komořany a nutností upravit technické řešení zajištění stavebních jam na nově zastížené geotechnické podmínky vedly ke zdržení zahájení stavebních prací. Zpracovatel realizační dokumentace po dohodě se zhotovitelem stavby navrhl investorovi alternativní řešení, které umožnilo zahájit ražbu jižního tunelu ještě před vyhloubením portálových stavebních jam. Návrh technického řešení a zkušenosti projektanta a zhotovitele stavby po prvním roce výstavby popisuje následující text.



Obr. 1 Průzkumná štola situovaná ve středu kaloty jižního tunelu
Fig. 1 The exploration gallery found in the centre of the southern tunnel calotte

INTRODUCTION

Prague, analogously to the majority of large European cities, has been facing a long – term problem of growing intensity of traffic and congestion of traffic in the city centre. The remedy for this situation is to reduce the intensity of transit and suburban transportation in densely populated regions of Prague by means of the development of a capacity outer city ring road. The whole ring road is divided into 11 construction lots marked by numbers 510 through 520, which are built in stages. The section of the city ring road between the municipalities of Vestec and Lahovice is denoted as construction lot 513. In the direction from Vestec, where it links to construction lot 514, the route crosses the Vltava River on a bridge and steeply ascends through two dual-carriageway tunnel tubes from Modřany toward Cholupice. There are cut-and-cover sections in the pre-portal sections, where the small height of the overburden does not allow the construction of tunnels by mining methods. The New Austrian Tunnelling Method (NATM) was designed for the sections with suitable geotechnical conditions. The longitudinal gradient of the tunnels requires a three-lane profile with the kerb-to-kerb width of 11.75m to be used for the ascending southern tunnel tube, while a double-lane profile with a 1.5m wide emergency lane is required for the opposite direction, i.e. the descending northern tube. The total kerb-to-kerb width reaches 9.75m. The kerb-to-kerb width plays a significant role because it affects the total excavated cross-sectional area, where also the total investment cost. Czech standard ČSN 737507 stipulates that the tunnel category is determined according to the kerb-to-kerb width.

The contractor obtained the results of a geotechnical survey before the commencement of the work. Part of the survey was also the excavation of a geotechnical exploration gallery. The position of the gallery within the southern (three-lane) tunnel cross section was in the centre of the top heading (see Fig. 1). The stability of the exploration gallery excavation (a barrel-shaped cross section, the excavated cross-sectional area of 25 m²) was provided by a primary lining consisting of shotcrete, mesh and lattice girders. The gallery with the net height of 5.5m and net width of 4.5m runs throughout the length of the southern tunnel; it makes the ventilation and drainage of the underground working during the construction possible.

At the time when this paper was being prepared, the excavation of the construction trench at the Cholupice portal (85 long and up to 17m deep) was completed to the level of the calotte of the tunnels; preparation operations for the commencement of the downhill excavation culminated at the portals (see Fig. 2). The southern tunnel had 106m of the top heading excavation completed in the direction from Cholupice. The slopes of the 170m long and nearly 30m deep Komořany construction trench were supported by soldier beam and lagging walls and the excavation proceeded. As of 15.11.2007, the length of 867m of the top heading was completed in the southern tunnel, with the bench excavation proceeding at a distance of about 400m from the top heading face, using the staggered sequence for the left side and right side of the tunnel (the advance lengths of 478m and 488m respectively).

Tunnel construction in an urban concentration is often connected with many complications. The case of the tunnels of construction lot 513 did not differ. Some unclear details regarding the right of way necessary for the construction of construction trenches, combined with the need for the adjustment of the information on geotechnical conditions in the location of the Komořany portal construction trench, and the necessity for the modification of the design for the stabilisation of the construction pit with respect to newly encountered geological conditions resulted in a delay in the works commencement. The author of the design of means and methods (the detailed design), with the contractor's approval, submitted a design alternative, which allowed the builders to start the southern tunnel excavation before the completion of the portal construction trenches. The design of means and methods and the designer's and contractor's experience after the initial year of the construction are described in the following text.

GEOTECHNICAL CONDITIONS – ASSUMPTIONS AND REALITY

While geotechnical conditions play some role only in terms of the design for the stabilisation of slopes of construction trenches and the foundation design in the case of cut-and-cover sections of tunnels, the rock mass represents a building material which contributes, together with the lining, to the overall loading capacity of the lining-ground system in the case of tunnels driven using the NATM. The forecast of the rock mass behaviour during the tunnel excavation and throughout the 100-year life of the tunnel significantly influences the overall design of means and methods of



Obr. 2 Pohled na Cholupický portál a stavební jámu
Fig. 2 A view of the Cholupice portal and the construction trench

GEOTECHNICKÉ POMĚRY – PROGNOZA A SKUTEČNOST

Zatímco v případě hloubených úseků tunelů hrají geotechnické poměry roli pouze z hlediska návrhu zajištění stability svahů stavebních jam a způsobu založení objektů, u tunelů ražených pomocí NRTM představuje horninový masiv stavební materiál, který se spolu s ostěním podílí na celkové únosnosti systému ostění – hornina. Prognóza chování horninového masivu během ražby tunelu i po celé stoleté období životnosti tunelu výrazně ovlivňuje celkový návrh způsobu zajištění stability výrubu, technologický postup výstavby a s tím související výši investičních nákladů. Výsledky geotechnického průzkumu představují jeden z hlavních podkladů pro návrh technologických tříd výrubu. Geotechnický průzkum proto v předchozích stupních projektové dokumentace zahrnoval vrtný průzkum, geofyzikální průzkum i geotechnická sledování prováděná v průzkumné štole, jejíž efektivnost bývá v souvislosti s použitím flexibilní NRTM často zpochybňována, a to zejména z ekonomických důvodů.

Průzkumná geotechnická štola ražená v profilu kaloty jižního tunelu poskytla řadu informací o horninách zastížených v trase tunelu i odevzvě horninového masivu na ražbu štoly. Součástí geotechnického průzkumu tvořil i pokusný úsek štoly ražené v plném profilu kaloty budoucího tunelu. Termín provádění průzkumné štoly a vyhodnocení získaných výsledků časově kolidoval s termínem dokončení zadávací dokumentace stavby. Získané výsledky zohledňovala zadávací dokumentace pouze částečně, a požadovala je proto zpracovat až do realizační dokumentace. Technologické třídy výrubu navržené v realizační dokumentaci proto zcela nekorrespondují s technologickými třídami výrubu navrženými v zadávací dokumentaci. Rovněž zajištění zejména portálových svahů stavebních jam se v realizační dokumentaci od původního návrhu liší.

Podle prognózy stanovené v zadávací dokumentaci tvoří horninový masiv v trase tunelu pevné horniny letenského souvrství charakteristického flyšovým vývojem. Geotechnické parametry souvrství jemně slídnatých jílovitých břidlic, drob, křemítkých břidlic a křemců degraduje provrášení a silné tektonické porušení. Skalní horniny jsou ve větších hloubkách dokonale zpevněné bez průlinové propustnosti. Pukliny jsou většinou těsně sepnuté nebo vyplněné (viz obr. 3). Pouze v mocnějších polohách drob či ordovických křemců byl avizován pohyb podzemní vody. Vlivem průzkumné štoly prováděné v předstihu došlo k částečnému odvodnění masivu a během výstavby nebyly očekávány významné přítoky podzemní vody do prostoru výrubu. Hlavní systém diskontinuit tvoří vrstevní plochy, které měly podle prognózy v případě dovršení ražby od Komořan směrem k Cholupicím zapadat do horninového masivu a příznivě ovlivňovat stabilitu čelby.

Během ražby jižního tunelu se potvrzuje předpoklad prakticky odvodněného horninového masivu. Přítoky do čelby jsou spíše ojedinělé a omezují se na lokální slabé výrony, které po čase mizí. Na způsob provádění nebo stabilitu výrubu nemají vliv. Množství vody vytékající z tunelu včetně technologické vody nepřesahuje 2 l/s. Sklon systému diskontinuit se však v průběhu ražby často mění a grafická výplň puklin způsobuje lokální nestabilitu čelby i líce nezajištěného výrubu. Proto je nutné ihned po provedení záběru provést geotechnické hodnocení čelby a navrhnout stabilizační opatření. Většinou se jedná o jehlování a strojní obtřhání uvolněných částí líce výrubu. Ve zvláště nepříznivých geotechnických podmínkách dochází k náhlému vypadávání celých bloků horniny, které by mohly ohrožovat bezpečnost pracovníků (viz obr. 4). Čelbu v těchto případech zhotovitel lokálně stabilizuje kotvením a střikaným betonem. I přes navržená opatření dochází místy k tvorbě geologicky podmíněných nadvýrubů, které jsou za účasti investora i zhotovitele dokumentovány a zhotovitelem co nejrychleji sanovány. Jejich výskyt je spíše ojedinělý. Celkově vykazuje horninový masiv vysoký stupeň stability. Měření deformace líce výrubu po provedení záběru rychle odeznívají a nepřekračují obvykle po vyražení plného profilu tunelu 10 mm.

HLOUBENÉ TUNELY KOMOŘANY

Stavební jáma níže položeného Komořanského portálu dosahuje hloubky 29 m a délka hloubených tunelů přesahuje 170 m (viz obr. 5). Zajištění boků stavební jámy

the excavation support and the tunnel construction, thus also the investment costs. The results of geotechnical survey represent one of the principal source documents for the specification of excavation support classes. For that reason, the geotechnical survey which was carried out for the preceding design stages consisted of a drilling survey, geophysical survey and geotechnical monitoring operations performed in the exploration gallery; the effectiveness of the gallery is often cast doubt on in the context of the use of the NATM, primarily for economic reasons.

The geotechnical exploration gallery, with the alignment following the top heading of the future southern tunnel excavation, provided lots of information about the rock types encountered along the tunnel route and about the rock mass response to the gallery excavation. Part of the geotechnical survey was even a trial excavation section which where the excavated cross section was identical with the profile of the calotte of the future tunnel. The term for the excavation of the exploratory gallery collided with the term required for the completion of the tender documents. The tender documents took the results of the survey into account only partially and they required that they be incorporated into the detailed design (design of means and methods). The excavation support classes which were specified in the tender documents therefore not fully correspond to the excavation support classes specified in the final design. Even the support of slopes of the construction trenches, most of all the support of the portal slopes, which is contained in the final design differs from the original design.

According to the forecast contained in the tender documents, the rock mass found along the tunnel route consists of massive rock of the Letná Member, which is characterised by the flysch type of evolution. The geotechnical parameters of the series of strata of finely micaceous clayey shales, greywacke, quartziferous shale and quartzite are degraded by folding and heavy faulting. At greater depths, the rocks are perfectly consolidated, without intrinsic permeability. Fissures are mostly locked or filled (see Fig. 3). Movement of ground water was predicted for thicker beds of greywacke or Ordovician quartzite. The excavation of the exploratory gallery, which was carried out in advance of the tunnel excavation, resulted in partial draining of the rock mass, therefore no significant inflows of ground water to the excavated space were expected. The main discontinuity system forms bedding planes which were, in the case of the uphill excavation from Komořany toward Cholupice, expected according to the forecast to dip into the rock mass, thus favourably affect the excavation face stability.

Today, during the course of the excavation of the southern tunnel, the assumption that the rock mass was virtually completely drained is being confirmed. The inflows to the heading are rather sporadic; they are restricted to local weak blowouts, which disappear over time. They do not affect the excavation procedure and excavation stability. The discharge of water from the tunnel, including the process water, does not exceed 2 l/s. The dip angle of the discontinuity system frequently changes and the graphitic filling of fissures causes local instability of the excavation face and the walls of the unsupported opening. It is therefore necessary to carry out the geotechnical assessment of the face and propose stabilisation measures immediately after the completion of the excavation advance. The usual form of the measures is forepoling



Obr. 3 Geologické poměry na čelbě jižního tunelu
Fig. 3 Geological conditions at the excavation face in the southern tunnel



Obr. 4 Nestabilita čelby při nepříznivém sklonu vrstev

Fig. 4 The excavation face instability due to the unfavourable dipping of rock layers

je prováděno z přirozeně svahovaného předvýkopu, z jehož dna jsou prováděny piloty a záporý stabilizující spodní partie stěn jámy. I když geotechnický průzkum avizoval bázi pokrytí mělce pode dnem stavební jámy, doplňující průzkum ukázal, že písčité sedimenty naplavené v minulosti řekou Vltavou dosahují větších mocností a piloty ani záporý nelze vetknout do skalního podloží. Skutečnost, že se po celé výšce stavební jámy nachází pouze vrstva písčitých sedimentů, ovlivňovala dimenze pilot, zápor a způsob kotvení jámy. Spolu s omezenou šířkou dočasného záboru pozemků pro realizaci hloubených tunelů vedla změna geologických poměrů k úpravě způsobu zajištění stavební jámy. V rámci realizační dokumentace došlo k prohloubení svisle pažených stěn na úkor svahované části. Portálovou stěnu tvoří velkopříměrové piloty \varnothing 1180 mm vrtané mimo profil tunelů, a záporová stěna prováděná nad oběma tunely. Zatímco piloty přesahují dno stavební jámy o 3,5 m, patu zápor stabilizuje železobetonový věnec spojený s mikropilotovým deštníkem z ocelových rour délky 15 m a \varnothing 108 mm prováděným v rozsahu kaloty nad oběma tunely. Piloty i záporý spojuje v koruně stěny v jeden tuhý celek železobetonový hlavový trám. Po výšce portálové stěny jsou piloty i záporý v pěti úrovních kotveny pramencovými kotvami přes železobetonové a ocelové převázky. Odtěžování stavební jámy probíhá po etážích, které respektují technologii provádění pažení jámy, betonáže převázek a předpinání kotev. Ve stavební jámě se v oblasti budoucího jižního tunelu nachází průzkumná štola, jejíž ostění je nutno při odtěžování jámy bourat. Hominový pilír dosahuje na portále ražených tunelů mocnosti pouze 9,5 m, což klade zvýšené nároky pro zajištění stability díla při zahájení ražby severního i jižního tunelu.

Hloubené tunely prováděné ve stavební jámě nekorespondují šířkovým uspořádáním s profilem navazujících ražených tunelů. Do stavební jámy zasahují přípojovací a odbočovací pruhy přilehlých křižovatek, což vede ke zvětšení šířky hloubených tunelů o jeden jízdní pruh. Stísněné poměry před portálem tunelu omezené mostem přes Vltavu a hloubeným tunelem délky 70 m neumožnily splnit bezpečnostní doporučení směrnice 2004/54/ES Evropského parlamentu a Rady na umístění přípojovacích pruhů v dostatečné vzdálenosti před portálem. Tunely tvoří železobetonová klenbová konstrukce ostění se spodní klenbou. Celková šířka jižního hloubeného tunelu přesahuje 21 m, severního pak 16 m. Minimální tloušťka ostění ve vrcholu klenby severního tunelu činí 600 mm, u jižního se vzhledem k rozpětí klenby a výšce zpětného zásypu zvětšuje na 800 mm až 1000 mm v místě největší výšky nadloží. Vzhledem ke snižující se mocnosti nadloží směrem k portálu tunelu a značné délce hloubených tunelů je dimenzování ostění z ekonomických důvodů provedeno po úsecích, kde dochází ke změně tloušťky ostění i stupně vyztužení. Oba hloubené tunely chrání proti průniku podzemní vody „deštníkový systém“ pláštivé fóliové izolace umístěné v oblasti klenby tunelu.



Obr. 6 Bourání ostění průzkumné štoly v oblasti jámy Cholupice

Fig. 6 The demolition of the exploration gallery lining in the area of the Cholupice construction trench



Obr. 5 Pažení stavební jámy Komořany

Fig. 5 Komořany construction trench partition

and mechanical scaling – removing of loose rock from the excavated surface. Complete rock blocks are abruptly released in the especially unfavourable geotechnical conditions, which could threaten the safety of workers (see Fig. 4). In such cases the contractor stabilises the excavation face locally by anchors and shotcrete. Despite the measures contained in the design, local, geologically conditioned overbreaks occur. They are documented in the presence of the owner and contractor and the contractor takes care of a remedy as quickly as possible. The occurrence of overbreaks is rather sporadic. In general, the rock mass displays a high level of stability. The measured deformations of the excavated surface become stable very quickly and, once the full profile excavation is completed, they usually do not exceed 10mm.

KOMOŘANY CUT-AND-COVER TUNNELS

The construction trenches for the lower, Komořany portal is 29m deep as a maximum, and the length of the cut-and-cover tunnels is over 170m (see Fig. 5). The support of the sides of the trench is installed from a pre-excavated trench, which has its sides reposing at natural slopes; piles and soldier beams stabilising the sides of lower parts of the construction trench are installed from the bottom of the pre-trench. Despite the fact that the geological survey forecast the base of the cover to be at a shallow depth under the construction trench, an additional survey showed that the sandy alluvium formed in the past by the Vltava River is thicker and neither the piles nor the soldier beams could be keyed into the bedrock. The fact that the layer of sandy sediments was the only material which is encountered throughout the depth of the construction trench affected the dimensions of the piles, soldier beams and the method of the anchoring of the walls. The change in the geological conditions, together with the limited width of the plan area of temporary works led to a change in the system of the construction trench support. Deeper vertically supported sides were designed within the framework of the design of means and methods, at the expense of the sloped portion of the trench depth. The portal wall is formed by large-profile piles \varnothing 1180mm, which were drilled outside the profiles of the tunnels, and a soldier beam and lagging wall, which was carried out above both tunnels. While the piles reach 3.5m under the bottom of the trench, the toes of the soldier beams are stabilised by a reinforced concrete waler, which is connected with a canopy tube pre-support. The pre-support consists of 15m long, 108mm diameter steel tubes forming an umbrella above the top headings of both tunnels. The piles and soldier beams are connected at the top of the walls by one capping piece. The portal walls are supported by five tiers of stranded anchors passing through reinforced concrete or steel walers. The excavation of the construction trench is divided into stages with the levels of benches corresponding to the needs of the technology of the installation of the retaining walls, casting of walers and pre-stressing of anchors. There is the exploration gallery in the area of the construction trench and the future southern tunnel. The gallery lining must be demolished during the course of the excavation of the trench. The rock pillar is only 9.5m thick at the portal of the mined tunnels, which places increased demands on the stabilisation of the works at the beginning of the excavation of both the southern and northern tunnel.

The cut-and-cover tunnels, which are built in an open cut, do not correspond in terms of the width arrangement to the profile of the adjacent mined tunnels. There are slip lanes and turning lanes of neighbouring intersections which are found in the layout of the construction trench. For that reason, the width of the cut-and-cover tunnels is greater by one lane. The conditions in front of the tunnel portal, which are constrained due to the existence of a bridge over the Vltava River and the 70m long cut-and-cover tunnel, did not allow the designer to meet the safety recommendations of the Directive of the European Parliament and of the Council No. 2004/54/ES for the location of slip lanes to be at a sufficient distance before portals. The tunnels are reinforced concrete lining structures with upper vaults and inverted arches. The total width of the southern and northern cut-and-cover tunnels exceeds 21m and 16m respectively. The minimum thickness of the lining in the crown of the northern tunnel lining is 600mm, while an increased 800mm up to 1000mm thickness is required for the southern tunnel lining with respect to the span of the vault and the increasing height of the backfill. Because of the height of the overburden, which decreases toward the tunnel portal, and the considerable length of the cut-and-cover tunnels,

HLOUBENÉ TUNELY CHOLUPICE

Prostorové poměry na Cholupickém portále nejsou tak stísněné, jako u komořanské straně a stavební jáma lze částečně provést svažováním severního svahu jámy v přirozeném sklonu 1,5 : 1 se zajištěním stability svahu tyčovými kotvami a vrstvou stříkaného betonu se sítí. Pouze na jižní straně jámy vyžadují místní poměry stěnu jámy zapažit záporovým pažením o světél výšce 6 m až 9 m. Záporů IPE 360 vrtané s roztečí 2 m a vetknuté 2 m do skalního podloží stabilizují lanové kotvy aktivované přes ocelové převázky. Mezi záporami jsou instalovány dřevěné pažiny o tloušťce 100 mm. Portálovou stěnu tvoří stejně jako v případě Komořanského portálu velkopřůměrové piloty a ocelové záporů. Práce na stavební jámě započaly vrtáním záporů a pilot v květnu 2007 s následnou betonáží ztužujícího hlavového trámu portálové stěny. Následovalo odtěžování stavební jámy po etapách a osazování a předepínání pramencových kotev v jednotlivých kotevních úrovních na portálové stěně a jižní záporové stěně. Rozpojování probíhalo bez použití trhačích prací a jedinou komplikací představovalo bourání primárního ostění průzkumné štoly (viz obr. 6). Oba hloubené tunely navazují bez změny tvaru vnitřního líce ostění přímo na profil ražených tunelů. Pouze dimenze ostění se oproti raženým tunelům u hloubených tunelů zvětšuje ze 400 mm na 600 mm.

SPECIFIKA RAŽENÝCH ÚSEKŮ TUNELŮ

Již při návrhu primárního ostění tunelu a technologického postupu ražby musí projektant zohlednit dispoziční řešení definitivního ostění tunelu. Koncepce tunelů vychází z délky bloku betonáže definitivního ostění 12 m. V úsecích ražených tunelů poblíž obou portálů vyžadují geotechnické poměry rychlé uzavírání spodní klenby tunelu. V úsecích dále od portálu je použit příčný profil bez uzavření spodní klenby a horní klenba spočívá na patkách. Návrh technologických tříd výrubu tuto skutečnost zohledňuje. Úsek ražený v technologické třídě výrubu 5a určený do nejhorších geotechnických podmínek má délku určenou jako násobek délky bloku betonáže definitivního ostění. Pokud to geotechnické podmínky v trase díla dovolí, lze i technologickou třídu výrubu 5a provádět v úpravě bez spodní klenby. V dalších úsecích již není spodní klenba použita a rozhraní mezi jednotlivými technologickými třídami výrubu není vázáno na rozhraní mezi bloky betonáže definitivního ostění. Další úpravy standardně navržených technologických tříd výrubu vyžaduje situování tunelových propojek, výklenků pro osazení skříní SOS, požárního hydrantu a výklenků čištění boční tunelové drenáže.

Pro potřeby výstavby zavádí realizační dokumentace kromě staničení hlavní trasy uváděné v km i tunelové staničení v tunelových metrech (TM). Jedná se o staničení s nulou umístěnou na Komořanském portále ve staničení hlavní trasy km 9,045 stoupající ve směru dovrchní ražby od Komořanského k Cholupickému portálu. Tunelové staničení na rozdíl od staničení hlavní trasy umožňuje snadnou identifikaci konkrétního místa v severním i jižním tunelu a omezuje tak vznik chyb během výstavby na minimum. Po ukončení stavby pozbývá tunelové staničení na významu a pro potřeby objednatele jsou veškeré údaje převedeny zpět do staničení hlavní trasy.

Délka ražených úseků jižního a severního tunelu není totožná. Oba tunely leží ve směrovém oblouku. Zatímco osa jižního tunelu tvoří rovnoběžku k ose hlavní trasy, osa severního tunelu se v prostoru Komořanského portálu od osy hlavní trasy nejprve odklání, v dalším úseku probíhá rovnoběžně s osou hlavní trasy a před portálem Cholupice se opět k ose hlavní trasy přibližuje. Tím je na větší délky ražených úseků tunelu zajištěna dostatečná vzájemná vzdálenost obou tunelových trub.

Rozdělení tunelu na bloky betonáže definitivního ostění stejné délky vede ke standardizaci konstrukčního řešení a ovlivňuje technické řešení dalších stavebních objektů i provozních souborů technologického vybavení tunelu. Kromě polohy propojek a výklenků ovlivňuje blokové schéma definitivního ostění i polohu kanalizačních a kabelových šachet, spárořez vozovky, umístění svítidel nouzového osvětlení a chrániček pro kabely vedené v definitivním ostění tunelu k jednotlivým zařízením. Jako základní byl při návrhu blokového schématu zvolen vzhledem k paralelnímu průběhu osy tunelu s osou hlavní trasy jižní tunel. Délka raženého úseku tunelu je beze zbytku rozdělena na bloky délky 12 m. Bloky betonáže atypické délky se v jižním tunelu nevyskytují. Polohu únikových tunelových propojek určují požadavky na bezpečnost provozu v tunelu a v tunelech se jich nachází celkem 8. Osa tunelové propojky odpovídá vždy ose bloku betonáže. Vhodnou úpravou polohy portálů, situováním tunelových propojek a vedením trasy jižního tunelu se podařilo vytvořit blokové schéma severního tunelu pouze ze 8 atypickými bloky betonáže, přičemž největší komplikací při vytváření blokových schémat obou tunelů představuje situování tunelových propojek.

Z hlediska ražby tunelu definují základní pravidla pro zajištění stability výrubu a technologický postup výstavby technologické třídy výrubu. Projektant realizační dokumentace analyzoval stávající znalosti o horninovém masivu v trase tunelů a provedl návrh technologických tříd výrubu pro oba tunely. Realizační dokumentace obsahuje pro každý tunel v souladu se zadávací dokumentací 3 technologické třídy výrubu označované 3, 4 a 5a. Technologická třída výrubu 5a je určena do nejtěžších geotechnických podmínek a obsahuje i modifikaci pro ražbu pod ochranou mikropilotového deštníku od obou portálů. Další dvě třídy pak definují způsob zajištění stability výrubu a technologický postup výstavby

the structural analysis of the lining was carried out economically, separately for several sections, which differ in the thickness and the reinforcement content. Both cut-and-cover tunnels are protected against infiltration of ground water by an "umbrella type" waterproofing system, with the membrane covering the tunnel vault.

CHOLUPICE CUT-AND-COVER TUNNELS

The spatial conditions at the Cholupice portal are not so much constrained as those on the Komořany side; the construction trench can be partially excavated with the northern side sloped at a natural gradient of 1.5 : 1 and the slope stabilisation provided by rod anchors, a sprayed concrete layer and steel mesh. The local conditions require that only the southern side of the trench be stabilised by a 6m to 9m high soldier beam and lagging wall. The soldier beams (IPE 360 sections), which are inserted in boreholes drilled at 2m spacing, 2m deep in the bedrock, are stabilised by cable anchors, which are activated through steel walers. Timber lagging 100mm thick is installed between the soldier beams. The portal wall consists of large-profile piles and steel soldier beams; it is the same system as that used at the Komořany portal. The work on the construction trench started by the drilling for soldier beams and piles in May 2007, followed by the casting of the capping piece on the portal wall. The subsequent operations consisted of the excavation of individual benches of the construction trench and installation and pre-stressing of the cable anchors at the individual anchoring levels on the portal wall and the southern soldier beam and lagging wall. The ground disintegration was carried out without a need for blasting operations; the only complication was the breaking of the primary lining of the exploration gallery (see Fig. 6). Both cut-and-cover tunnels link to the profile of the mined tunnels directly, without changing the shape of the internal contour of the lining. Only the dimension of the cut-and-cover tunnel lining is changed, compared with the mined tunnels; it is increased from 400mm to 600mm.

SPECIFICS OF MINED TUNNEL SECTIONS

As early as the primary tunnel lining and excavation procedure design phase, the designer must take into consideration the spatial arrangement of the final lining of the tunnel. The concept of the tunnels is based on the length of a casting block of the final lining, which is to be 12m. In the sections of the mined tunnels which are near the portals, the geotechnical conditions require quick closing of the tunnel invert. In the sections which are at a greater distance from the portals, a cross section without the closing by invert is used; the vault is supported by footings. The specification of excavation support classes takes this fact into consideration. The length of the section where the excavation passes through excavation support class 5a, which is designed for the worst geotechnical conditions, was determined as a multiple of the final lining casting block length. Where the geotechnical conditions along the tunnel route allow it, even excavation support class 5a can be without invert. The invert is not used in the subsequent sections and the interfaces between individual excavation support classes are not bound to the interfaces between the final lining casting blocks. Other modifications of the typical excavation support classes are required for locations with cross passages, recesses for SOS cabins, fire hydrants and recesses provided for the purpose of cleaning side drains running along the tunnel sides.

To satisfy the needs of the tunnel construction, the detailed design introduced a system of chainage measured in tunnel metres (TM) in addition to the chainage system established for the main route. The zero chainage of the TM system is at the Komořany portal, at the main route chainage of km 9.045, rising in the direction of the uphill excavation from the Komořany portal toward the Cholupice portal. As opposed to the main route chainage, the tunnel chainage makes easy identification of a particular location in the southern or northern tunnel possible, thus it keeps the number of errors made during the construction at a minimum level. When the construction is completed, the tunnel chainage will lose the importance and all data will be converted to follow the main route chainage system.

The lengths of the mined sections of the southern tunnel and northern tunnel are not identical. Both tunnels are on a horizontal curve. The centre line of the southern tunnel is parallel with the horizontal alignment of the main route, whereas the centre line of the northern tunnel diverts in the area of the Komořany portal, runs parallel to the main route in the next section and returns close to the horizontal alignment of the main route before the Cholupice portal. This design ensures a sufficient distance between the two tunnel tubes along the major part of the mined tunnel sections lengths.

The division of the tunnel into final lining casting blocks with equal lengths leads to the standardisation of the structural design and affects the engineering solution of other structures and tunnel equipment systems. In addition to the locations of cross passages and recesses, the block scheme of the final lining affects the locations of sewerage manholes and cable shafts, the joints layout, locations of the emergency lighting luminaries and cable ducts in the lining leading to individual fittings. The southern tunnel was chosen as the basic tunnel for the block scheme design with respect to the horizontal alignment of the tunnel, which is parallel with the alignment of the main route. The length of the mined section of the tunnel is divided into aliquot, 12m long parts. Atypically long casting blocks do not exist in the southern tunnel. The locations of escape cross passages are determined by the requirements for the tunnel operation safety; there are 8 escape cross passages in the tunnels. The centre line of each cross passage is always in the middle of the particular casting block. By properly adjusting the locations of the portals, locations of the cross passages and the horizontal alignment of the southern tunnel, the designer managed to create a block scheme for the northern tunnel containing only five atypical casting blocks; the most serious complication which was encountered during the work on the block schemes was the determination of the locations of the cross passages.



Obr. 7 První úder bouracího kladiva při zahájení ražby ze štoly
Fig. 7 Initial blows by the impact hammer on the commencement of the excavation from the gallery

v lepších geotechnických podmínkách. Pro ověření geotechnických podmínek byla v předstihu před ražbou tunelu vyražena v ose jižního tunelu průzkumná štola. Projektant štoly našel její optimální polohu v profilu kaloty. Počva štoly se nachází v úrovni 3,35 m nad úrovní niveletu tunelu a světlá výška dosahuje 5,5 m. Šířka štoly 4,5 m umožnila bezproblémový pohyb mechanismů, neumožnila však jejich vzájemné míjení při provozu ve štole. Proto jsou ve štole po cca 200 m navrženy výhybny jednostranným rozšířením profilu štoly do profilu kaloty budoucího tunelu. V jednom úseku došlo v rámci geotechnického průzkumu k vyrazení pokusného výrubu v plném profilu kaloty budoucího tunelu s počvou v úrovni počvy průzkumné štoly.

Při návrhu technologických tříd výrubu jižního třípruhového tunelu zohlednil projektant realizační dokumentace polohu průzkumné štoly a pokusil se maximálně využít jejich rozměrů při úpravě tvaru příčného řezu tunelu. Limitujícím faktorem bylo výškové vedení trasy tunelu i celková plocha výrubu ovlivňující rozsah prováděných prací, a tím i výši investičních nákladů. Po dohodě se zhotovitelem s ohledem na nasazenou mechanizaci došlo ke zvětšení výšky kaloty na 6,6 m za cenu prohloubení její počvy na úroveň 2,25 m nad niveletu tunelu, tj. 1,1 m pod počvou průzkumné štoly. Nadvýšený rub primárního ostění tunelu odpovídal teoretickému líci primárního ostění štoly, aby bylo možno výztužné rámy a síť ostění tunelu umístit pod primární ostění štoly. Odchyly a tolerance provádění primárního ostění štoly směrem do profilu však mnohdy vedly k nutnosti demolice stropu štoly. Rovněž využití jednostranných výhyben jako součásti primárního ostění tunelu se ukázalo jako nereálné. Pokusný výrub plného profilu kaloty se podařilo díky dobrým geotechnickým podmínkám v daném úseku zachovat a zakomponovat do primárního ostění tunelu. Průzkumná štola snížila objem výrubu kaloty při šířce výrubu v počvě kaloty 16,4 m a výšce kaloty 6,6 m z 85 m² jen na cca 60 m². Plocha výrubu jádra dosahovala při výšce výrubu 3,56 m až 57 m². V technologické třídě výrubu 5a se spodní klenbou tvořil třetí část vertikálního členění profil počvy o ploše 25 m². Plocha výrubu největšího profilu se spodní klenbou dosahuje po odečtení plochy výrubu průzkumné štoly více než 140 m² včetně průzkumné štoly pak 165 m². Plocha výrubu jižního tunelu bez spodní klenby dosahuje 113 m², resp. 138 m² včetně plochy průzkumné štoly.

Zadávací dokumentace poprvé v České republice umožňuje variovat jednotlivé prvky zajištění stability výrubu bez nutnosti měnit smluvní cenu za běžný metr tunelu vyraženého v určité technologické třídě výrubu a v určitém intervalu. Samozřejmě v určitém intervalu, který v případě ražených tunelů stavby 513 představuje 20 % od smluvní ceny. Pokud úprava jednotlivých prvků zajištění stability výrubu (kotvy, jehly, tloušťka primárního ostění, výztužné síť a rámy atd.) nevede k odchylce od smluvní ceny o více než 20 %, není zhotovitelem nárokováno zvýšení či snížení investičních nákladů a k úpravě může dojít po dohodě odpovědných zástupců objednatele a zhotovitele přímo na stavbě. Až v případě, že rozsah úprav vede k odchylce od smluvní ceny větší než 20 %, dojde k její úpravě. Systém se blíží rakouskému způsobu hodnocení podle ÖNORM B2203 s tím, že nejsou jednotlivé prvky zajištění stability výrubu hodnoceny bodově, ale přímo podle smluvní ceny. Nové posuzování změn způsobu zajištění stability výrubu během výstavby otevírá prostor k operativnímu rozhodování podle skutečně zastížených geotechnických podmínek, což je jeden z hlavních principů NRTM. V době přípravy článku probíhala jednání o zvětšení profilu severního tunelu. Proto jeho parametry neuvádíme.

ALTERNATIVNÍ ZPŮSOB ZAHÁJENÍ RAŽBY JIŽNÍHO TUNELU

V úvodu popsané komplikace oddalovaly termín zahájení ražeb obou tunelů. Proto zpracovatel realizační dokumentace navrhl po dohodě se zhotovitelem alternativní způsob zahájení ražby jižního třípruhového tunelu, který byl následně předložen objednateli k odsouhlasení. Návrh spočíval v provedení rozšíření profilu průzkumné štoly na plný profil kaloty tunelu a zahájení ražby z vytvořeného nárazí uvnitř horninového masivu. Odtěžování rubaniny a doprava materiálu do podzemí probíhaly přes průzkumnou štolu. Jako

Regarding the tunnel excavation, the basic rules for the securing of the excavation stability and the excavation procedure are defined by excavation support classes. The designer who carried out the detailed design (design of means and methods) analysed the pieces of knowledge of the rock mass along the tunnel route and specified the excavation support classes for both tunnels. The design of means and methods contains, in agreement with the tender documents, 3 excavation support classes, which are marked as classes 3, 4 and 5a. Excavation support class 5a is intended for the most difficult geotechnical conditions; it even contains a modification for the excavation using canopy tube pre-support to be installed from both portals. The specification for the other two classes define the excavation support system and excavation procedure for better geotechnical conditions. An exploration gallery following the centre line of the southern tunnel was driven for the purpose of the verification of the geotechnical conditions. The designer found the optimum alignment for the gallery. In the cross section, the gallery is found within the tunnel top heading profile, with the bottom at a height of 3.35m above the tunnel bottom. The net height of the gallery reaches 5.5m. The width of the gallery allowed trouble-free movement of tunnelling equipment, but it did not allow machines to pass along one another in the gallery. For that reason there are passing bays in the gallery, which are provided every 200m by enlarging the gallery profile on one side, to the profile of the future tunnel calotte. In one section of the tunnel, a trial excavation was carried out, with the full cross section of the future tunnel top heading and the bottom identical with the exploration gallery bottom level.

When the specification of excavation support classes for the southern, three-lane tunnel was being developed, the author of the final design made allowance for the position of the exploration gallery within the tunnel cross section and attempted to use its dimensions for the benefit of the shape of the tunnel cross section. The limiting factor was the vertical alignment of the tunnel and the total excavated cross-sectional area, which affected the volume of the works and the investment costs. After discussions with the contractor, with respect to the tunnelling equipment to be used, the top heading height was increased to 6.6m by lowering of its bottom to the level of 2.25m above the tunnel bottom, i.e. 1.1m under the bottom of the exploration gallery. The overcut outer surface of the primary lining of the tunnel corresponded to the theoretical inner surface of the primary lining of the gallery so that the lattice girders and steel mesh could be installed beneath the primary lining of the gallery. However, deviations of the primary lining of the gallery causing its protrusion into the tunnel excavated cross section frequently required demolition of the gallery lining. The use of the one-sided passing bays as parts of the primary lining of the tunnel also showed unrealistic. Owing to the good geotechnical conditions in the given section, the trial top heading full-face excavation was preserved and incorporated into the primary lining of the tunnel. The exploration gallery reduced the volume of the top heading excavation (16.4m wide at the top bottom and 6.6m high) to a mere 60m² area. The excavated cross-sectional area of the bench reached up to 57m² (at the excavation height of 3.56m). In excavation support class 5a with invert, there was a third part in the vertical excavation sequence. It was the invert with the excavated cross sectional area of 25m². The cross-sectional area of the largest tunnel profile with the invert reaches, after the deduction of the exploration gallery cross section, over 140m²; if it is together with the exploration gallery profile, it makes up 165m². The excavated cross-sectional area of the southern tunnel without the invert reaches 113m², or 138m² without the exploration gallery area.

It has been for the first time in the Czech Republic that a contractor is permitted by tender documents to vary individual elements of the excavation support system without a necessity for changing the contractual unit price for a meter of the tunnel excavated through a particular excavation support class. Of course, it is so within a certain interval, which is 20% of the contractual price in the case of the mined tunnels of construction lot 513. If the modification of the individual elements of the primary support system (anchors, needles, primary lining thickness, steel mesh, lattice girders etc.) does not result in a deviation from the contractual price exceeding 20%, the contractor does not require an increase (or decrease) in the investment cost and the modification can be agreed between the authorised representatives of the owner and contractor directly on site. Only when the extent of modifications results in a deviation from the contractual price greater than 20% will the contractual price be changed. The system is very similar to the Austrian method of the assessment according to ÖNORM B2203, with a difference in the assessment of individual elements of the excavation support system: they are assessed directly according to the contractual price, not by points. The new approach to the assessment of the excavation support system during the course of the construction opens the space for an operative decision-making process taking into consideration the actually encountered conditions, which is one of the main NATM principles. There were negotiations in progress at the time of the preparation of this paper regarding the enlargement of the northern tunnel cross section. For that reason we do not present the parameters of this tunnel.

ALTERNATIVE PROCEDURE FOR THE COMMENCEMENT OF THE SOUTHERN TUNNEL EXCAVATION

The complications which were described in the introduction delayed the date of the commencement of the excavation of both tunnels. For that reason, the author of the detailed design proposed, after discussions with the contractor, an alternative procedure for the commencement of the excavation of the southern, three-lane tunnel, which was subsequently submitted for approval to the owner. The proposal was based on the idea of enlarging the exploration gallery cross section to the full profile of the tunnel top heading and starting the excavation from a point of attack to be established inside the rock massif. The muck was removed and materials were supplied through the exploration gallery. The first one-sided passing bay in the gallery, which was located at the tunnel chainage TM 250, i.e. about 80m beyond the

optimální místo pro zahájení ražeb byla využita první jednostranná výhybná štoly situovaná do tunelového metru TM 250, tj. cca 80 m za stěnou Komořanského portálu. Alternativní zahájení ražby bylo navrženo ve 2 variantách. První varianta předpokládala po rozšíření profilu výhybný dovrchní ražbu směrem k Cholupickému portálu. Druhá varianta předpokládala po vytvoření dostatečného manipulačního prostoru v podzemí dovrchní ražbu kaloty směrem k Cholupickému portálu dočasné zastavení ražby. Provedení zpětné ražby směrem ke Komořanskému portálu až na vzdálenost cca 6 m od portálové stěny by umožnilo vyrazení první tunelové propojky do severního tunelu ve staničení TM 215 a otevření dalšího pracoviště s možností ražby dvoupruhového tunelu. Po zvážení výhod a nevýhod obou variant vybral zhotovitel pro realizaci první variantu. Hlavním důvodem pro výběr varianty byla omezená kapacita průzkumné štoly jako dopravní cesty pro obsluhu dvou podzemních pracovišť v každém tunelu a zákaz odtěžování rubaniny průzkumnou štolou přes Cholupický portál. V realizační dokumentaci představoval alternativní návrh pouze variantní řešení technologického postupu prací. Technologické třídy výrubu i standardní technologické postupy výstavby zůstaly zachovány.

Ražba jižního tunelu byla zahájena dne 2. 4. 2007 rozšířením výhybný průzkumné štoly (viz obr. 7). Nedostatek prostoru omezoval počátku výkony a ražba probíhala v technologické třídě výrubu 5a s modifikací bez spodní klenby. Délka záběru v kalotě se pohybovala do 1 m. Primární ostění výhybný štoly zasahovalo do profilu tunelu a muselo být po jednotlivých záběrech odstraněno. Rychlost ražby se pohybovala do 1 m za den. Po vytvoření dostatečného manipulačního prostoru a zlepšení geotechnických podmínek ve větší vzdálenosti od portálu se výkony zvyšovaly až na 2 záběry kaloty za den s průměrnou rychlostí ražby 4,2 m/den (max. 5,4 m/den). I když celkově vykazoval horninový masiv vysokou stabilitu, docházelo při prodloužení délky záběru k nežádoucím nadvýrubům způsobeným lokálním vypadáním bloků horniny po plochách diskontinuit, a to jak na lici výrubu, tak z čelby (viz obr. 4).

Po vyrazení 700 m jižního tunelu lze konstatovat, že i přes jistá omezení způsobená stísněným prostorem průzkumné štoly jako dopravní komunikace umožnilo alternativní řešení zahájit ražbu tunelu před dořešením problémů v oblasti tunelových portálů a odtěžením stavebních jam. Během dovrchní ražby tunelu od Komořanského portálu došlo k vytěžení stavební jámy Cholupice na úroveň kaloty tunelů, navrtání mikropilotových dešťníků, betonáží ochranných železobetonových věnců a přípravě portálu pro zahájení úpadní ražby. Odtěžování stavební jámy Komořany probíhá po etapách s ochranným cílkem po obvodu průzkumné štoly. Po zahájení úpadní ražby od Cholupického portálu bude dovrchní ražba dočasně přerušena a po demolici ostění štoly stavební jáma Komořany dotěžena na úroveň kaloty obou tunelů. Následně lze zahájit dovrchní ražbu obou tunelů i od Komořanského portálu.

VÝZNAM PRŮZKUMNÉ ŠTOLY PRO RAŽBU TUNELU

NRTM patří k metodám, které dokáží operativně reagovat na skutečně zastížené geotechnické podmínky a optimalizovat postup výstavby i způsob zajištění stability výrubu. Nutnost provádění průzkumných štol v souvislosti s NRTM proto patří k často pokládaným otázkám a vede mnohdy k bouřlivým diskusím. Proto nebudeme hodnotit ekonomickou stránku věci a zaměříme se na vliv průzkumné štoly pouze z pohledu zhotovitele, jehož úkolem je realizace podzemního díla.

Poloha průzkumné štoly v ose tunelu v profilu kaloty se ukázala jako optimální jak z hlediska provádění výrubu a jeho stability, tak z hlediska provádění trhacích prací. Nepřesnosti v provádění primárního ostění štoly vedly mnohdy k nutnosti bourání ostění i v přístropí tunelu (viz obr. 8). Větší nadvýšení profilu by sice vyžadovalo vyplnění případného prostoru mezi lícem ostění štoly a rubem ostění tunelu stříkaným betonem, nosná funkce ostění by však zůstala zachována. Primární ostění štoly by mělo být vzhledem k dočasné funkci slabě vyztuženo, aby následná demolice nepředstavovala časové ztráty. Jedná se



Obr. 8 Bourání ostění průzkumné štoly v přístropí kaloty
Fig. 8 Demolition of the exploration gallery lining in the top heading crown

Komořany portal wall, was used as the optimum place for the commencement of the tunnel excavation. Two variants of the alternative commencement of the excavation were prepared. The first variant expected an uphill excavation toward the Cholupice portal to start once the profile of the passing bay has been enlarged. The other variant assumed that the excavation would be temporarily suspended after a sufficient manoeuvring space had been created in the underground by the uphill excavation of the top heading toward the Cholupice portal. A counter excavation toward the Komořany portal, up to a distance of 6m of the portal wall, would have made the excavation of the first cross passage to the northern tunnel at chainage TM 215 and establishing of a point of attack allowing the excavation of the double-lane tunnel possible. Taking into consideration advantages and disadvantages of both methods, the contractor chose the former alternative for the realisation. The main reason for the choice of this alternative was the limited capacity of the exploration gallery which was to become the transport route for the servicing of two underground workplaces (partial headings) in each tunnel, and a ban on the removal of muck via the exploration gallery through the Cholupice portal. In the detailed design, the alternative proposal represented only a variant of the technological procedure of the works. The excavation support classes and the standard means and methods of excavation remained unchanged.

The excavation of the southern tunnel started on 2.4.2007 by operations enlarging the exploration gallery to the dimensions of the passing bay (see Fig. 7). A lack of space limited the outputs at the beginning; the excavation passed through excavation support class 5a, with the modification without invert. The advance per cycle was up to 1m. The primary lining of the passing bay protruded into the tunnel profile and had to be removed after the individual advances. The excavation advance rate was up to 1m per day. Once a sufficient manoeuvring space had been created and the geotechnical conditions had improved (at a greater distance of the portal), the outputs improved reaching even two top heading advance rounds per day, with the average advance rate of 4.2m per day (maximum 5.4m/day). Despite the fact that the rock mass displayed high stability, undesired overbreaks occurred in the cases of extended lengths of the excavation rounds; rock blocks locally slipped down along discontinuity surfaces, both from the excavated tunnel surface and the excavation face (see Fig. 4).

After the completion of 700m of the southern tunnel excavation it is possible to state that, despite some restrictions associated with the constrained space in the exploration gallery, the alternative design made it possible for the tunnel excavation to start even though the solution to the problems in the area of the tunnel portals has not been concluded and the construction trenches excavation has not been completed. The excavation of the construction trench at the Cholupice portal to the tunnel top heading floor level was finished and the installation of the canopy tube pre-support, casting of the reinforced concrete capping pieces and preparation of the portal for the commencement of the downhill excavation were performed during the course of the uphill excavation of the tunnel from the Komořany portal. The excavation of the construction trench Komořany is being carried out in stages, with a protective layer of untouched rock left around the exploration gallery circumference. When the downhill excavation from the Cholupice portal starts, the downhill excavation will be temporarily suspended; the Komořany construction trench excavation will be completed to the level of the top headings of both tunnels only after the demolition of the gallery lining. The uphill excavation of both tunnels from the Komořany portal can be resumed subsequently.

IMPORTANCE OF THE EXPLORATION GALLERY FOR THE TUNNEL EXCAVATION

The NATM belongs among the methods which are able to operatively respond to the actually encountered geotechnical conditions and optimise the construction procedure and the means and method of the excavation support. The necessity for the driving of exploration galleries in the context of the NATM therefore belongs among frequently asked questions and it many times leads to wild discussions. For that reason we are not going to assess the economic side of the problem; we are going to focus on the effect of the exploration gallery purely from the viewpoint of a contractor, whose task is to carry out the underground works.

The position of the alignment of the exploration gallery following the top heading profile proved to be optimum both in terms of the excavation execution and stability and in terms of the blasting operations. Inaccuracies in the construction of the primary lining of the gallery often resulted in the necessity for the demolition of the lining, even in the tunnel crown (see Fig. 8). On the one hand, larger overcutting of the profile would have required the filling of the potential space between the inner surface of the gallery lining and the outer surface of the tunnel lining with shotcrete; on the other hand, the load-bearing function of the lining would have remained unspoiled. The reinforcement of the primary lining of the gallery should be weak, with respect to the temporary function of the lining, so that the subsequent demolition does not cause time losses. This is primarily possible by the replacement of steel mesh by steel wire reinforced shotcrete or replacement of steel anchors by glassfibre reinforced plastic anchors. Once the gallery lining had been removed, the loosened rock mass was easier to excavate, both in weaker layers using a tunnel excavator and in harder layers using the drill and blast method. The explosion energy was focused toward the free space formed by the gallery, which fact made the use of effective drill patterns and more considerate manner of rock disintegration possible.

Owing to the properties of the rock mass along the tunnel route, no significant deterioration of the properties of the rock mass in the tunnel surroundings which is usual, for example, in an environment formed by clay or deterioration prone rocks or soils, took place. In general, the excavation was stable, with the vectors of displacement not exceeding 10mm. The gallery acted as a stabilising element in the longitudinal direction. It was possible in a case of need, in an unstable environment,

zejména o nahrazení výztužných sítí drátkobetonem nebo ocelových kotev sklo-laminátovými. Po demolici ostění štoly umožňoval rozvolněný horninový masiv snazší odtěžování jak v měkkých polohách tunelovým bagrem, tak v tvrdších polohách za použití trhačích prací. Energie výbuchu směřovala do volného prostoru štoly, což umožňovalo návrh efektivních vrtných schémat a šetrnější rozpojování horninového masivu.

Vzhledem k vlastnostem horniny v trase tunelu nedocházelo vlivem ražby štoly k výraznému zhoršení vlastností masivu v okolí výrubu, jak tomu bývá např. v prostředí jílu nebo hornin či zemin náchylných k degradaci. Výrub byl celkově stabilní s vektory deformace do 10 mm. Štola působila v podélném směru jako stabilizující prvek. V případě nutnosti by bylo možné provést v nestabilním prostředí opatření vedoucí ke zlepšení horninového masivu v předstihu před provedením záběru. Vzhledem ke kvalitě horninového masivu tato možnost nebyla doposud využita.

Ražbou štoly došlo k částečnému odvodnění horninového masivu a omezení přítoků vody do výrubu tunelu na minimum. Ke snížení hladiny podzemní vody při ražbě vlastního tunelu došlo s ohledem na dobu výstavby a puklinovou propustnost horninového masivu v každém případě. Nízké přítoky podzemní vody rovněž souvisí s mimořádně suchým létem v roce 2007, kdy v celé lokalitě poklesla hladina sledovaných studní až o několik metrů, a to nezávisle na oblasti ovlivněné přítomností průzkumné štoly, resp. ražbou tunelu.

Průzkumná štola pozitivně ovlivňuje možnost větrání podzemních pracovišť po dobu výstavby a tvoří další unikovou cestu v případě krizových situací. V případě třípruhového tunelu umožnila zahájení ražby v předstihu před odtěžením stavebních jam portálových úseků tunelu.

Využití primárního ostění jednostranných výhyben naráží na problém napojení výztužných rámu a sítí i přesnost provádění. Ostění jednostranných výhyben zasahovalo do profilu tunelu a přesná poloha výztužných rámu nebyla dokumentována. Proto došlo k úplné demolici ostění a jeho nahrazení primárním ostěním kaloty tunelu.

Primární ostění pokusného úseku ražby kaloty v průzkumné štolě bylo vzhledem k vyhovující poloze a dobré kvalitě horninového masivu ponecháno za cenu nemožnosti napojení výztužných rámu stávající kaloty a nově prováděného ostění v opěří, neboť jejich skutečná poloha nebyla dokumentována. Rovněž nebyl připraven styčnickový prvek pro napojení rámu při osazování rámu v opěří tunelu. Na základě zkušeností lze doporučit provádění výhyben v průzkumných štolách v plném profilu kaloty a s dostatečným nadvýšením nad profilem budoucího tunelu, pokud to geotechnické podmínky dovolí. Jednostranné výhybny lze provádět buď s důsledným dokumentováním polohy výztužných rámu a možnosti jejich napojení na zbývající část ostění kaloty tunelu nebo v profilu, nebo v profilu tunelu s minimálním vyztužením ostění, aby jeho demolice nezpůsobovala problémy při ražbě tunelu. Při využití stávajícího ostění vždy zůstává otázkou stav napjatosti a rezervy únosnosti původního ostění a statické chování nového a starého ostění jako celku.

Vzhledem k tomu, že v době zpracování článku nebylo možno vyhodnotit zkušenosti z ražby severního tunelu, která bude probíhat v horninovém masivu bez přítomnosti průzkumné štoly, nelze jednoznačně posoudit vliv průzkumné štoly na stabilitu výrubu, deformační chování horninového masivu nebo přítoky vody do čelby.

Pokud nehodnotíme ekonomickou efektivitu provádění průzkumné štoly, která však hraje zásadní roli, lze z ryze technického hlediska konstatovat, že v konkrétních podmínkách ražby jižního tunelu stavby 513 převládají při hodnocení vlivu průzkumné štoly pozitivita nad negativy.

ZÁVĚR

Provádění každého podzemního díla je originální a úspěšnou realizací ovlivňuje mnoho faktorů. Dotěžení stavební jámy Cholupice na konci září 2007 na úroveň kaloty umožnilo zahájení úpadní ražby v obou tunelových troubách. Dopravní ražba jižního tunelu alternativním způsobem s využitím průzkumné štoly jako dopravní cesty minimalizovala časový skluz na počátku harmonogramu. Před vytežením stavebních jam bylo vyraženo více než 800 m jižního tunelu v kalotě a 400 m v jádře. Pozitivní přístup zástupců investora i zhotovitele přispěl k překonání počátečních problémů a stavba nabírá na tempu. Při stavbě se uplatňuje v České republice dosud nepoužitý způsob oceňování ražby a způsobu zajištění stability výrubu, který umožňuje plné využití výhod NRTM. Zhotovitel postupuje při ražbě tunelu i ve ztížených podmínkách podle harmonogramu prací tak, aby byl dodržen termín uvedení stavby do provozu v roce 2010. Po dořešení situace kolem rozšíření dvoupruhového severního tunelu lze okamžitě zahájit jeho ražbu od Cholupického portálu a s krátkým časovým odstupem i od portálu Komořanského. Investorem stavby je Ředitelství silnic a dálnic České republiky, zhotovitelem sružení SKANSKA-DS, SKANSKA-BS a Alpine Mayreder, autorský dozor provádí firma Pragoprojekt, geomonitoring pro investora zajišťuje firma Mott MacDonald, poradenskou činnost zajišťuje firma D2 Consult a realizační dokumentaci tunelových objektů zpracovává firma IKP Consulting Engineers.

ING. PETER ŠTEFKO, CSc. peter.stefko@skanska.sk, SKANSKA-BS, a. s.,
ING. LIBOR MAŘÍK, libor.marik@ikpce.com,
IKP CONSULTING ENGINEERS, s. r. o.

to implement measures leading to the improvement of the rock mass ahead of the excavation face. Thanks to the good quality of the rock mass, this possibility has not been used yet.

The excavation of the gallery caused partial drainage of the rock mass and reduced the water inflows to the tunnel excavation to a minimum level. However, the water table would be lowered during the course of the tunnel excavation in any case, considering the duration of the works and the existence of the fissure type permeability of the rock mass. The low rates of ground water inflows are also attributable to the exceptionally dry summer 2007, where the water surface in the wells being monitored dropped even by several metres within the whole locality, independently of the area affected by the presence of the exploration gallery or by the tunnel excavation.

The exploration gallery positively influences the possibility to ventilate the underground spaces throughout the construction period and provides another escape route in the case of critical situations. It made the excavation of the three-lane tunnel possible before the excavation of the construction trenches for the portal cut-and-cover sections of the tunnel was finished.

The use of primary lining of the one-sided passing bays encounters a problem of the connection of lattice arches and steel mesh with those of the tunnel lining, and the problem of the accuracy of the lining installation. The lining of the one-sided passing bays protruded into the tunnel cross-section and the exact positions of the lattice girders were not documented. For that reason the lining had to be completely demolished and replaced by the tunnel top heading lining.

The primary lining of the trial section of the top heading excavation within the framework of the exploration gallery excavation was, owing to the satisfactory position of the lining and good quality of the rock mass, left untouched, at the expense of the possibility of connecting the lattice girders supporting the previous excavation (top heading) with the girders newly installed in the bench excavation due to the fact that their position had not been documented. The joint elements for the connection of the lattice girders installed during the bench excavation were also unprepared. It is possible to recommend on the basis of experience that the top-heading-full-face passing bays be reconstructed in exploration galleries and sufficient overcutting of the future tunnel profile be carried out if the geotechnical conditions allow it. One-sided passing bays can be constructed either with the positions of lattice girders being consistently documented and the possibility of their connection with the remaining part of the tunnel top heading lining being maintained, or in the position protruding into the tunnel profile, where the reinforcement content must be minimum so that the demolition of the lining causes no problems during the tunnel excavation. A problem to be dealt with always remains in the case of the use of the existing lining, i.e. the state of stress in the original lining, the margin of the loading capacity of the original lining and the structural behaviour of the new and old liners as a whole.

Because of the fact that it was impossible at the time of the work on this paper to assess the experience gained during the excavation of the northern tunnel, which will pass through a rock mass where no exploration gallery is present, it is not possible to unambiguously assess the influence of the exploration gallery on the excavation stability, deformational behaviour of the rock mass or inflows of water to headings.

If we disregard the economic effectiveness of the construction of the exploration gallery, which, however, plays a crucial role, it is possible from the engineering point of view to state that if we assess the influence of the exploration gallery, positives prevail over negatives in the particular conditions of the excavation of the southern tunnel of construction lot 513.

CONCLUSION

The implementation of any underground construction project is an original performance. Its success is influenced by many factors. The completion of the excavation of the Cholupice construction trench to the calotte level at the end of September 2007 made the commencement of the downhill excavation of both tunnel tubes possible. The uphill excavation of the southern tunnel by the alternative method using the exploration gallery as a transport route minimised the delay suffered at the beginning of the excavation works. Nearly 700m of the southern tunnel top heading and 400m of the bench had been excavated before the completion of the excavation of the construction trenches. The positive attitude adopted by the owner's and contractor's representatives contributed to the overcoming of the initial problems and the construction work is gaining momentum. The method of the excavation cost estimation and determination of the excavation support means and methods which has been used during the construction is original in the Czech Republic. It makes the full use of the NATM advantages possible. The contractor continues to excavate the tunnel even under worsened conditions, according to the construction schedule, so that the deadline for the construction commissioning in 2010 is met. When the situation regarding the enlargement of the double-lane northern tunnel is solved, the commencement of the excavation from the Cholupice portal will be immediately possible, to be followed with a short delay by the excavation from the Komořany portal. The project owner is the Directorate of Roads and Motorways of the Czech Republic, the contractor is a group of companies consisting of SKANSKA-DS, SKANSKA-BS and Alpine Mayreder, the consulting engineer's supervision is provided by Pragoprojekt, the geomonitoring services are provided for the owner by Mott MacDonald, consultancy services are provided by D2 Consult and the final design (design of means and methods) for the tunnel structures is carried out by IKP Consulting Engineers.

ING. PETER ŠTEFKO, CSc. peter.stefko@skanska.sk, SKANSKA-BS, a. s.,
ING. LIBOR MAŘÍK, libor.marik@ikpce.com,
IKP CONSULTING ENGINEERS, s. r. o.